

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Radek Toman**

Studijní program:

B2109 Metalurgické inženýrství

Studijní obor:

2109R035 Technologie výroby kovů

Téma:

Vliv mletí uhlí na přípravu uhelné vsázky a na kvalitu koksu  
Effects on the Milling of Coal for Coal Charge Preparation  
and on Coke Quality

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor parametrů charakterizujících mletí uhlí
2. Možnosti přípravy uhelné vsázky při ovlivnění kvality koksu
3. Vlastnosti a složení uhelné vsázky ve vztahu ke kvalitě koksu

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Suárez-Ruiz, I., Ward, C. R. *Applied coal petrology: the role of petrology in coal utilization*. Basic Factor Controlling Coal Quality and Technological Behavior of Coal Academic press Elsevier, Burlington, USA, 2008, 395 p. ISBN 978-0-08-045051-3 .
- [2] Roubíček, V. Janík, I., Bilík, J., Kret, J. *Utilization of Coal Steel Industry*. Eighteenth Annual International Pittsburgh Coal Conference Proceedings, Newcastle, Australia, 2001, CD-ROM.
- [3] Czudek, S., Kaloč, M., Cieslar J., Škuta, Z. *Kompozice uhelných vsázek s využitím statistických metod*. Hutnické listy, roč. LXI, č. 3, s. 8-14, 2008. ISSN 0018-8069.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavlína Pustějovská, Ph.D.**

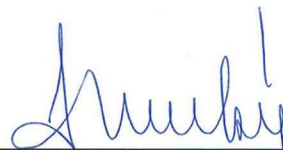
Konzultant bakalářské práce: doc. Ing. Ján Kret, CSc.

Datum zadání: 30.11.2010

Datum odevzdání: 13.05.2011



prof. Ing. Karel Michalek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.  
děkan fakulty

# Zásady pro vypracování bakalářské práce

## I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 5. Obsah BP                  |
| 2. Zásady pro vypracování BP                 | 6. Textová část BP           |
| 3. Prohlášení + místopřísežné prohlášení     | 7. Seznam použité literatury |
| 4. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | 8. Přílohy                   |

ad 1) Titulním listem je originál zadání BP, který student obdrží na své oborové katedře.

ad 2) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za titulním listem.

ad 3) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listě (student jej obdrží na své oborové katedře) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. *V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.*

ad 4) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listě česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 5) Obsah BP se uvádí na zvláštním listě. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 6) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 8).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 7) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 8) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra . . . . .*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

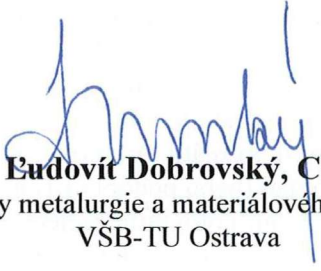
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON včetně abstraktu a klíčových slov v češtině a angličtině.

### IV.

Bakalářská práce, která neodpovídá těmto zásadám, nemůže být přijata k obhajobě. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2009/2010.

Ostrava 30. 11. 2010

  
**Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.**  
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava



# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě ..... 13.5. 2011

.....  
podpis (jméno a příjmení studenta)

### ***Poděkování***

*Na tomto místě bych si dovolil poděkovat Ing. Pavlíně Pustějovské, Ph.D., vedoucí bakalářské práce, za vedení během zpracování této práce a konzultantu doc. Ing. Jámu Kretovi, CSc., za jeho velmi cenné rady, za ochotu a čas, který věnoval zodpovězení mých dotazů.*

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou přípravy vysokopecního koksu. V metalurgickém průmyslu je současným trendem nahrazování určitého množství vysokopecního koksu v peci jinými náhradními palivy. Prodlužuje se doba, po kterou musí koks setrvat v šachtě vysoké pece, což klade vysoké požadavky na jeho kvalitu. V současnosti se snižuje množství kvalitního koksovatelného uhlí, vhodného pro výrobu kvalitního vysokopecního koksu. V koksárenském průmyslu se stává významnou etapou sestavování vhodných koksovacích vsázek, které obsahují větší množství méně kvalitního koksovatelného uhlí. Jednou z možností jak využít méně kvalitní uhlí je jeho úprava pomocí selektivního mletí, které se vyznačuje určitou charakteristikou zrnění.

Klíčová slova: uhlí, koks, melitelnost, uhelná směs, odraznost vitritinu.

## Abstract

This thesis deals with the preparation of blast furnace coke. In the metallurgical industry, the current trend is to replace a certain amount of blast furnace coke by other alternative fuels. The period, during which the coke has to stay in furnace shaft is extending. That places high demands on its quality. At present, the amount of good quality coking coal suitable for making high-quality blast furnace coke is being reduced. In the coke industry is becoming an important stage compilation of suitable coal charges, which include larger ratio of low-quality coking coal. One of the possibility how to use lower quality coal is its handling by selective grinding, which is characterized by a specific grain size distribution.

Keywords: coal, coke, grindability, coal blend, vitrinite reflectance.

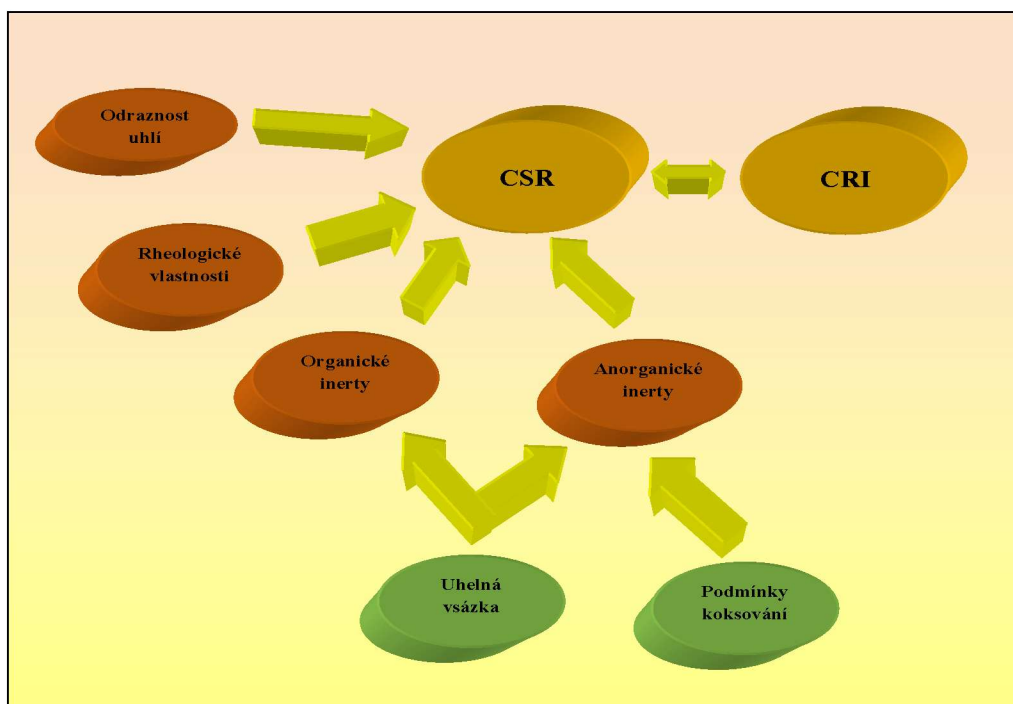
---

## Obsah

1	Úvod .....	3
2	Teoretický rozbor parametrů charakterizujících mletí uhlí .....	6
2.1	Vznik uhlí, stádia prouhelňování, klasifikace .....	6
2.2	Základní vlastnosti uhlí a jeho klasifikace .....	6
2.3	Petrografické složení uhlí .....	6
2.4	Tvrdost a mikrotvrdost uhlí .....	10
2.5	Melitelnost uhlí .....	11
3	Možnosti přípravy uhelné vsázky při ovlivnění kvality koksu .....	14
4	Vlastnosti a složení uhelné vsázky ve vztahu ke kvalitě koksu .....	16
4.1	Kvalita vysokopecního koksu .....	16
4.2	Predikce vlastností vysokopecního koksu .....	17
4.3	Kompozice uhelných vsázek s využitím statistických metod .....	21
5	Závěr .....	26

# 1 ÚVOD

Poptávka po metalurgickém koksu pro vysoké pece nutí koksárenský průmysl hledat nové zdroje koksovatelného uhlí. Růst hutního průmyslu, který je hlavním spotřebitelem koksu, vyžaduje odpovídající zvýšení produkce koksu. Každoročně je více než 600 milionů tun uhlí zpracováno na 400 Mt koksu. Požadavky na kvalitu koksu pro vysoké pece jsou neustále přísnější. Fyzikální a chemické parametry uhlí používané při tvorbě uhelné vsázky určují kvalitu výsledného koksu. Vysoce kvalitní koks lze získat pouze z uhlí s dobrými koksovacími vlastnostmi, které jsou v současnosti dostupné pouze v omezeném množství. V současné době se při výrobě koksu používají uhelné směsi, složené ze dvou až osmi uhelných druhů. Obsahují méně kvalitní uhlí, protože jsou levnější a dostupnější. Hlavním kritériem pro složení těchto směsí je kvalita výsledného vyrobeného koksu. Celosvětově se používají dva nejdůležitější parametry k definování kvality vysokopecního koksu, jedná se o reakci s  $\text{CO}_2$  při vysoké teplotě (reaktivity index CRI) a mechanickou pevnost po reakci (pevnost koksu po reakci, index CSR). Tyto parametry a způsob jejich měření byly vyvinuty Nippon Steel Corporation (NSC) [1]. Hlavní faktory, které ovlivňují pevnost koksu po reakci s  $\text{CO}_2$  při  $1100^\circ\text{C}$  jsou uvedeny na obrázku 1.



Obr.1: Hlavní faktory, které ovlivňují pevnost koksu po reakci s oxidem uhličitým při  $1100^\circ\text{C}$  (index CSR).



Metalurgický koks je makroporézni uhlíkatý materiál s vysokou pevností, který se vyrábí karbonizací uhlí specifického složení, nebo uhelných směsí při teplotách až 1400 K. Při výrobě surového železa ve vysoké peci má koks tyto důležité role:

- jako palivo, poskytuje teplo pro endotermické požadavky chemických reakcí, tavení strusky a kovu;
- jako zdroj redukčního plynu nutného pro redukci oxidů železa a uhlíku pro přímou redukci;
- jako nosná kostra, jediný pevný materiál ve vysoké peci, který poskytuje propustné matice nezbytné pro prostup kovu a strusky dolů do nístěje a horké plyny, které nechá projít nahoru do sazební;
- jako nahličovadlo.

Z těchto rolí, mohou být první dvě nahrazeny olejem, plyny, plasty a uhlím. Tato náhradní paliva jsou injektována jako zdroj energie a uhlíku přes výfučny. Tato technologie umožňuje snížit podíl koksu ve vsázce pro vysokou pec. V současné době nelze nahradit vysokopecní koks jako nosnou kostru umožňující prostup kovu, strusky a plynu.

V průběhu několika posledních desetiletí, kdy byl při výrobě železa kladen důraz na větší výrobnost a propustnost pece se současným snížením množství koksu ve vsázce pomocí injektování náhradních paliv (zdroj uhlíku), zejména práškového uhlí, rostla role vysokopecního koksu jako nosné kostry za nutné podmínky zlepšení jeho kvality. Snížení množství vysokopecního koksu ve vsázce má za následek menší tloušťky koksové vrstvy v kohesivní zóně a tím i prodloužení doby, po kterou koks zůstane v této zóně. Při nahrazení koksu 100 – 200 kg uhlí dojde k navýšení doby, po kterou koks zůstane v kohesivní zóně, o více než 30 %. To znamená, že koks je vystaven delší dobu mechanickému, tepelnému a chemickému působení.

Koks pro vysokou pec musí být kompromisem mezi jeho strukturou a vlastnostmi. Pro zajištění dobrého výkonu vysoké pece, je nutné, aby vysokopecní koks měl podobnou zrnitost, vysokou mechanickou pevnost a odolával účinkům při reakci s oxidem uhličitým a alkáliemi, otěru a teplotním výkyvům ve vysoké peci.

Chemické vlastnosti vysokopecního koksu ovlivňují jeho uplatnění, pokud jde o množství uhlíku potřebné pro přímou i nepřímou redukci a pro jeho roli jako propustné vrstvy ve vysoké peci.

Mezi chemické vlastnosti řadíme: vlhkost, obsah prchavých látek, síry, fosforu a kovů alkalických zemin. Je nutné udržet jejich výši na co nejnižší úrovni. Typické vlastnosti vysokopecního koksu jsou uvedeny v tabulce 1 [2].

Tab.1: Požadované fyzikální a chemické vlastnosti vysokopecního koksu v Evropských hutnických závodech.

<b>Fyzikální vlastnosti</b>	<b>Rozmezí</b>
Střední zrna (mm)	47 – 70
M <sub>40</sub> (+60) Micum test (hm.%)	> 80 to > 88
M <sub>10</sub> (+60) Micum test (hm.%)	< 5 to < 8
L <sub>40</sub> IRSID test (hm.%)	53 – 55
L <sub>20</sub> IRSID test (hm.%)	> 75,5
CSR (hm.%)	> 60
CRI (hm.%)	20 – 30
<b>Chemické vlastnosti</b>	<b>Rozmezí</b>
Vlhkost W <sub>r</sub> <sup>t</sup> (hm.%)	1 – 6
Prchavá hořlavina V <sup>d</sup> (hm.%)	< 1.0
Popel A <sup>d</sup> (hm.%)	8 – 12
Síra S <sup>d</sup> (hm.%)	0.5 – 0.9
Fosfor P <sup>d</sup> (hm.%)	0.02 – 0.06
Alkalie (hm.%)	< 0.3

## 2 TEORETICKÝ ROZBOR PARAMETRŮ CHARAKTERIZUJÍCÍCH MLETÍ UHLÍ

### 2.1 Vznik uhlí, stádia prouhelňování, klasifikace

Uhlí je ve své podstatě obřím akumulátorem světelné i tepelné sluneční energie, kterou ve své dlouhodobé geologické historii přijímala naše planeta Země. Část této energie se ve formě fosilních paliv uchovala do dnešní doby. Ekonomicky a technologicky nejvýznamnějšími fosilními palivy jsou uhlí, ropa a zemní plyn. Prokazatelný je jejich organický původ. Uhlí vzniklo převážně z rostlinných zbytků, nahromaděných v oblastech mírného pásma ve vodních tocích, jezerech, mořských zálivech a lagunách. Zde postupným zaplňováním vznikaly bažiny, které v některých geologických obdobích pokrývala další vegetace. Vznik fosilních paliv uhelné řady byl podmíněn vznikem organických látek a vývojem života, především rostlinstva, na Zemi [3].

### 2.2 Základní vlastnosti uhlí a jeho klasifikace

Podle prouhelňování je uhlí možno rozdělit do tří skupin na hnědá uhlí, černá uhlí a antracitu. Klasifikace uhlí podle prouhelňování vychází z kontinuálního evolučního procesu přeměny odumřelých organických látek na materiál s vyšším nebo velmi vysokým obsahem uhlíku. Prouhelňování uhlí se zvyšuje s rostoucím obsahem uhlíku a jeho obsah lze nejvhodněji vyjádřit ve vztahu k organické hmotě uhlí v suchém a bezpopelnatém stavu, který vyjadřujeme symbolem  $C^{daf}$ . Dobrou korelaci s obsahem uhlíku má obsah prchavé hořlaviny vyjádřený opět v suchém a bezpopelnatém stavu symbolem  $V^{daf}$ . Prouhelňování uhlí roste s rostoucím obsahem uhlíku a s klesajícím obsahem prchavé hořlaviny (ČSN 44 1310) [4].

### 2.3 Petrografické složení uhlí

Z petrologického hlediska je pro stanovení stupně prouhelňování uhlí určujícím parametrem stanovení světelné odraznosti vitrinitu ( $R_o$ ) a macerálové složení. Mikroskopické rozlišení macerálů se provádí mikroskopem s imerzním objektivem ve světle vlnové délky 525 - 560 nm. Při pozorování nábrusů se macerály rozlišují podle světelné odraznosti, tvaru a struktury jednotlivých částic, barvy světla, popřípadě podle luminiscence. Pomocí výbrusů uhelných vzorků lze zjišťovat tvary a strukturu a absorpci světla. Hlavními rozeznávacími znaky macerálů jsou světelná odraznost, tvar a konfigurace jednotlivých úlomků.

Na základě stanovení světelné odraznosti vitrinitu jsou stanovovány typové skladby uhlí a uhelných směsí. Parametr světelné odraznosti vitrinitu se stanoví pomocí obrazového analyzátoru. Světelná odraznost vitrinitu je průměrná procentuální hodnota odraženého světla z povrchu vitrinitu zpět do objektivu [5]. Rozdělení jednotlivých uhlí dle hodnot odraznosti je uvedeno v tabulce 2.

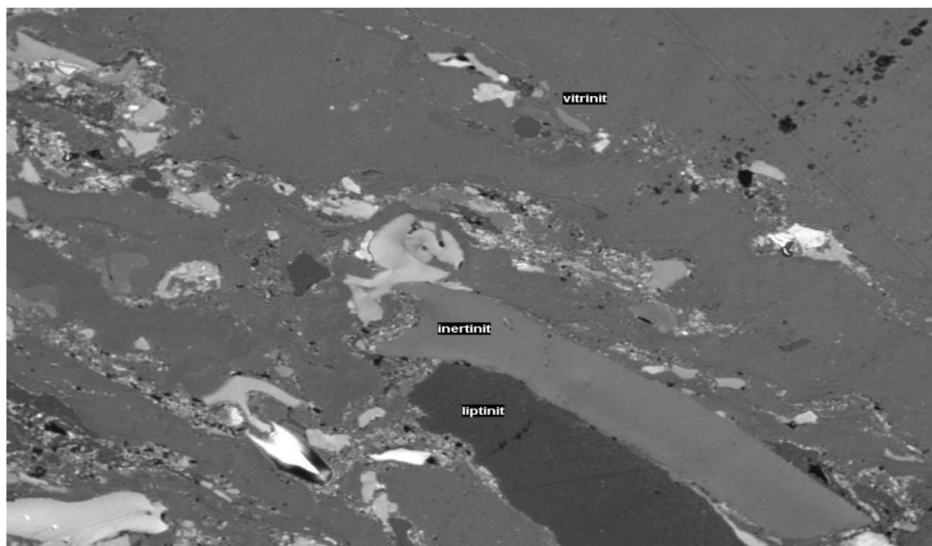
Tab.2: Rozdělení uhlí dle hodnot odraznosti.

Typ uhlí	značka	$R_o(\%)$	$V^{daf}(\%)$
pálavé	D	pod 0,65	nad 41
plynové	G	0,65 - 0,95	33 - 41
žírné	Ž	0,96 - 1,15	28 - 33
koksové-žírné	KŽ	1,16 - 1,30	24 - 8
koksové I.skupiny	Ka	1,31 - 1,45	20 - 24
koksové II.skupiny	Kb	1,46 - 1,85	14 - 20
antracitové	T	1,86 - 2,20	10 - 14
antracit	A	nad 2,20	pod 10

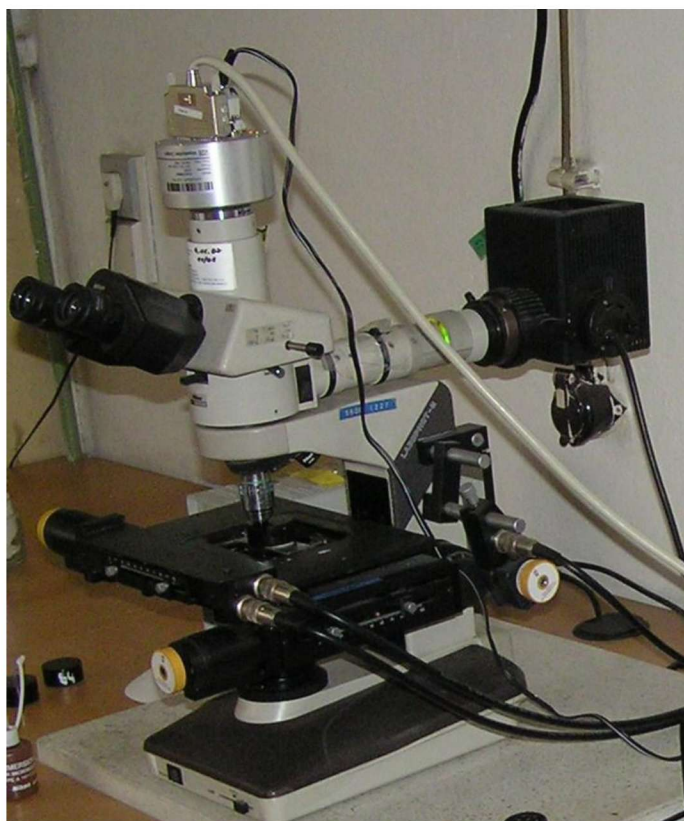
Uhelná hmota se skládá z jednotlivých komponent, které mají svůj původ v různých částech rostlinného těla. Tyto komponenty se nazývají macerály, které se, na základě svých morfologických, optických a jiných vlastností, zařazují do tří základních macerálových skupin:

- skupiny vitrinitu, mají v dopadajícím světle šedavý odstín, který je dán odrazností macerálů této skupiny, skládají se z polymerů, celulózy a ligninu, mají největší zastoupení v koksovatelném uhlí;
- skupiny liptinitu, v porovnání se skupinou vitrinitu je pro tuto skupinu typická nízká odraznost s tmavě šedým až černým odstínem, pocházejí z voskové a pryskyřičné části rostlin, jsou odolné proti zvětrávání;
- skupiny inertinitu, macerály mají velmi světlý až žlutobílý odstín v dopadajícím světle, macerálová skupina inertinitu vykazuje nejvyšší odraznost ve srovnání se skupinou vitrinitu a liptinitu, vznikly z částí rostlin, které byly pozměněny a degradovány v rašelině ve fázi formování uhlí [6].

Zobrazení jednotlivých macerálů pomocí mikroskopu je uvedeno na obrázku 2, schéma mikroskopu na obrázku 3.



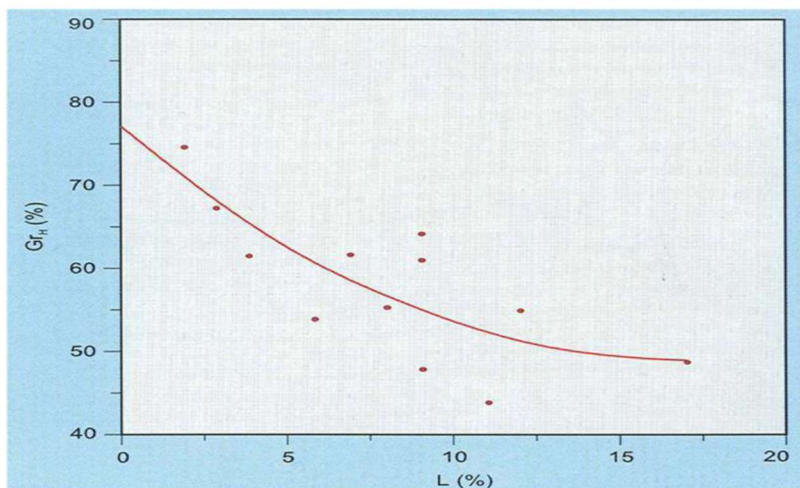
Obr.2: Snímek uhelného nábrusu s jednotlivými zrny a typy macerálů.



Obr.3: Mikroskop s imerzním objektivem, pro stanovení světelné odraznosti vitrinitu a macerálového složení uhlí.

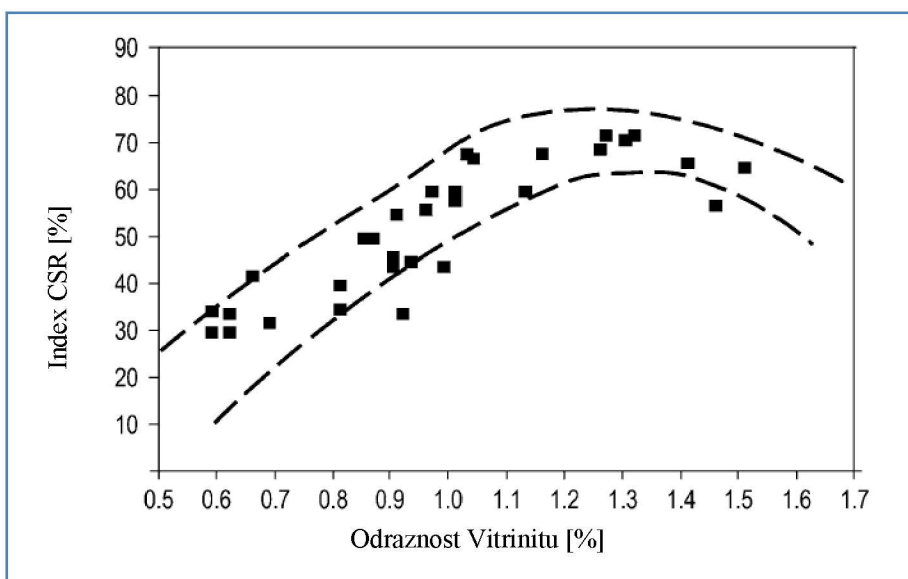


Závislost melitelnosti uhlí (dle metody Hardgrove) na obsahu macerálu liptinitu je uvedena na obrázku 4, kdy se zvyšujícím se obsahem macerálu liptinitu klesá melitelnost uhlí.



Obr.4: Melitelnost uhlí vs. obsah liptinitu L u uhlí OKR [3].

V souvislosti s petrografickým rozбором je nutno zmínit i závislost odraznosti na indexu CSR. Existuje úzký vztah mezi indexem CSR a hodnotou odraznosti uhlí. Index CSR prochází maximem v oblasti primárního koksovateľného uhlí s průměrnou odrazností od 1,2 % do 1,3 %, mimo tento interval klesá. Obr. 5 ukazuje vztah indexu CSR a odraznosti uhlí.



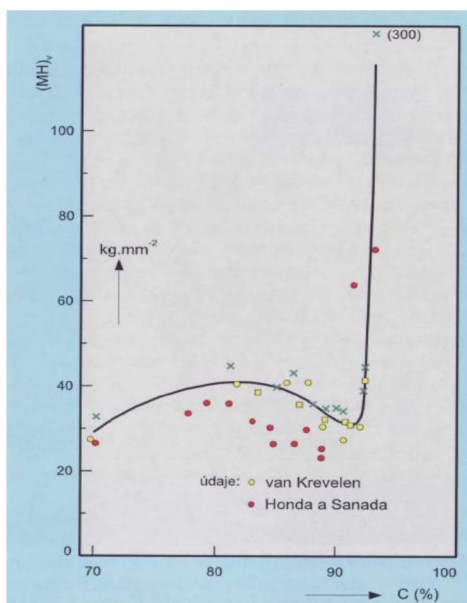
Obr.5: Vztah mezi odrazností uhlí a pevností koksu po reakci s oxidem uhličitým [2].

Toto chování může vysvětlit relativní podíl jednotlivých konstrukčních prvků uvnitř koksu se silnou závislostí na odraznosti uhlí. Nicméně, některé koksy spadají mimo tento úzký vztah, což naznačuje, že odraznost, i když je dominantním faktorem, není jediným faktorem, který ovlivňuje parametry CRI a CSR. Katalytické účinky zplyňování koksu a podmínky koksování je nutno také brát na zřetel. Je zjištěno, že odraznost a chemické složení zdrojového uhlí silně ovlivňují optické textury koksu. Několik studií ukazuje, že vývoj anizotropie (velikost, tvar a intenzita) se mění v průběhu karbonizace především v závislosti na odraznosti uhlí, petrografickém složení uhlí, plasticitě zdrojového uhlí, podmínkách karbonizace, jako je rychlost ohřevu, přetlak plynu, jakožto i na charakteru přidaných látek používaných při míchání uhelné vsázky [2].

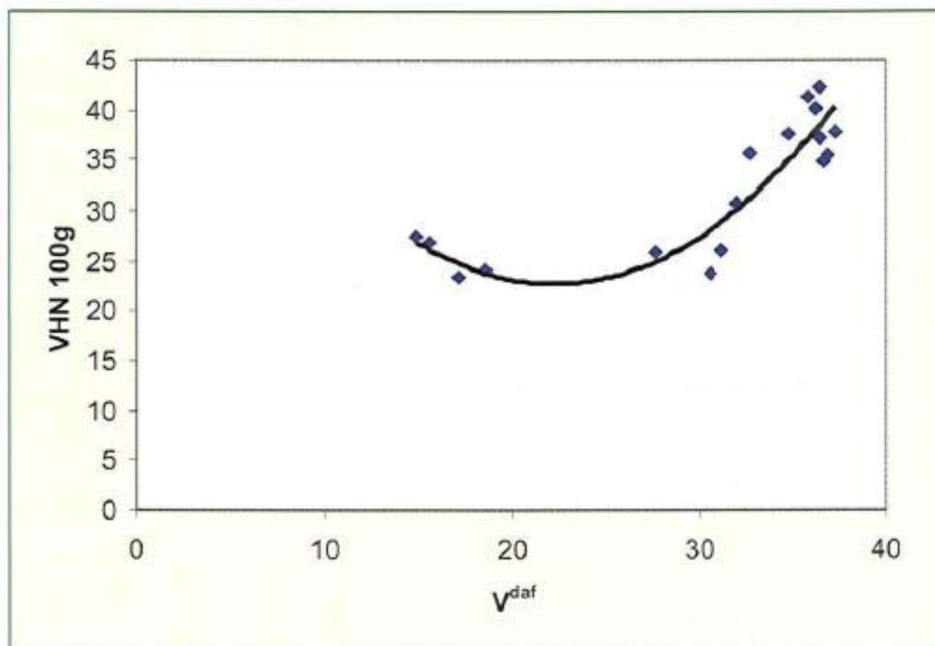
## 2.4 Tvrdost a mikrotvrdost uhlí

Tvrdost uhlí jako odolnost proti vrypu se většinou určuje podle Mohsovy stupnice tvrdosti. Tvrdost těžených uhlí se pohybuje od stupně 1 do stupně 3.

Mikrotvrdost MH uhlí je měřena vtláčováním tělísek různých tvarů do plochy uhelného nábrusu. Běžné je použití Vickersovy diamantové pyramidy se čtvercovou základnou a s úhlem sklonu  $22^\circ$ . Vtisk uhlí je ohraničen zřetelným diagonálním křížem. Mikrotvrdost se mění s rostoucím obsahem uhlíku, dosahuje maxima při prouhelnění kolem 82 % C a minima kolem 92 % C. Nad asi 92 % C mikrotvrdost strmě roste, jak je patrné na obrázku 6.



Obr.6: Index mikrotvrdosti podle Vickerse (MH) v závislosti na prouhelnění [3].



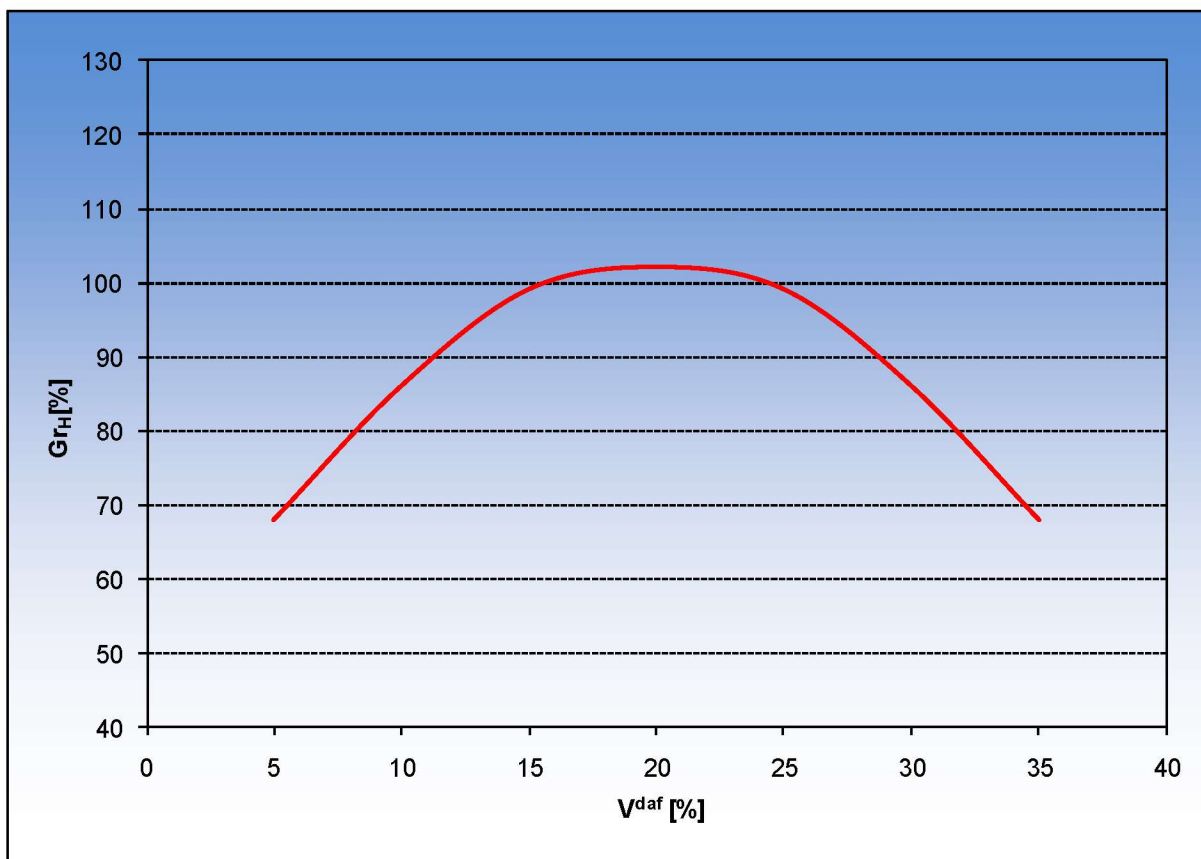
Obr.7: Závislost hodnoty mikrotvrdosti VHN (podle Vickerse) při zatížení 100 g na obsahu  $V^{daf}$  pro uhlí české hornoslezské pánve [7].

Z obrázku 7 vyplývá, že se snižováním obsahu  $V^{daf}$  v intervalu 25 % až 12 % v uhlí narůstá jejich křehkost, projevující se snadným drcením. V provozních podmínkách při rozpojování uhlí dochází ke snadné a zvýšené tvorbě prachu až respirabilních prašných částic (pod 5  $\mu\text{m}$ ) [7].

## 2.5 Melitelnost uhlí

Kromě již uvedených fyzikálně-chemických vlastností uhlí se rozlišuje jeho specifická vlastnost označovaná jako melitelnost. Melitelnost uhlí vlastně představuje převrácenou hodnotu odporu uhlí proti rozpojení.

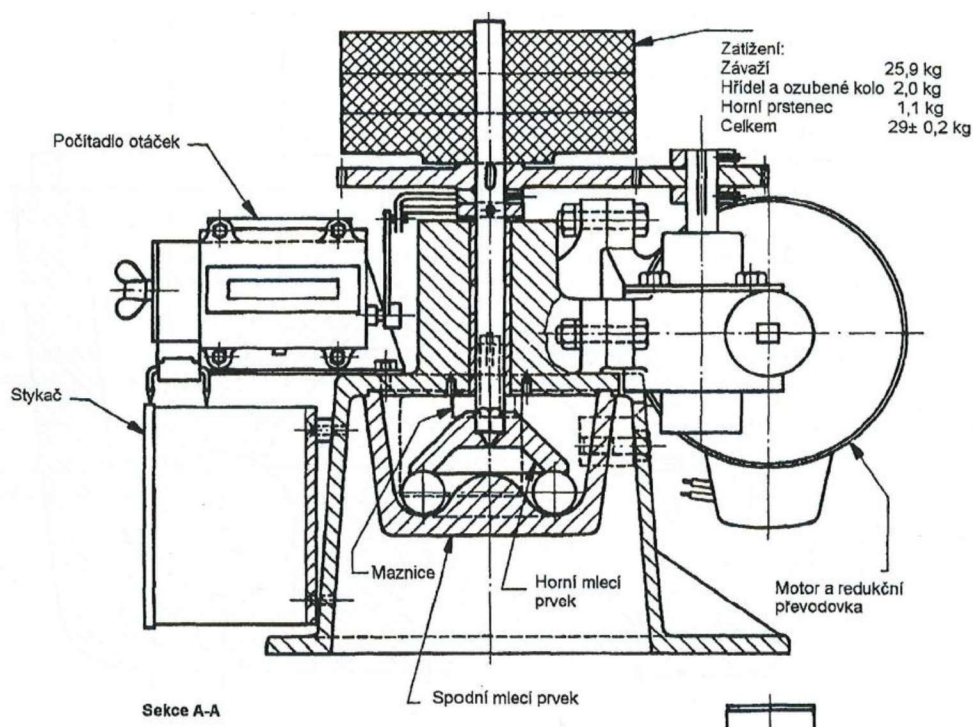
Melitelnost uhlí kromě fyzikálně-chemických vlastností také ještě závisí na petrografickém složení, velikosti původního zrna, druhu a stavu uhlí a na stupni jeho prouhelnění. Závislost melitelnosti (metodou Hardgrove) černého uhlí na obsahu prchavé hořlaviny ( $V^{daf}$ ) je uvedena na obrázku 8.



Obr.8: Obecný průběh melitelnosti uhlí (metodou Hardgrove) v závislosti na obsahu prchavé hořlaviny.

Křivka vykazuje extrém při hodnotě prchavé hořlaviny 19 % – 24 %. Podle průběhu křivky lze konstatovat, že nejlépe melitelná jsou uhlí koksová, následují uhlí žírná, nejhůře melitelná pak uhlí plynová a antracitová.

Melitelnost můžeme definovat jako schopnost uhlí zvětšit při úderu nebo tření velikost povrchu. Pro stanovení melitelnosti měříme buď práci potřebnou k definování zvětšení povrchu, nebo stanovujeme míru zvětšení povrchu při konstantní práci mletí. Hodnota, vyjadřující melitelnost, je vždy relativní a závisí na zvoleném způsobu rozpojení, na způsobu hodnocení kvality vsázky i produktu mletí a na postupu při výpočtu [8].



Obr.9: Mlýnek Hardgrove pro stanovení melitelnosti uhlí.

Melitelnost (grindability) Gr je nejběžněji určována testem melitelnosti podle Hardgrove (ČSN 44 1338) [9]. Index melitelnosti Hardgrove představuje složenou fyzikálně-mechanickou vlastnost uhlí, zahrnující množství specifických vlastností jako je tvrdost, pevnost, houževnatost a lomivost. Pro zkoušku se používá předdrcený vzorek uhlí o zrnitosti 0,6 – 1,2 mm. Schéma zařízení je uvedeno na obrázku 9.



### 3 MOŽNOSTI PŘÍPRAVY UHELNÉ VSÁZKY PŘI OVLIVNĚNÍ KVALITY KOKSU

Uhlí nemůže být ve stavu, v jakém se vytěží, použito přímo pro výrobu koksu. Je směsí kusů všech velikostí od nejdrobnějšího prachu až po kusy velikosti 500 mm a je kromě toho promíšeno zpravidla značným množstvím nespalitelných součástí nerostného původu, které hodnotu uhlí snižují a jsou při dalším zpracování uhlí látkami balastními, někdy i škodlivými [8]. Z tohoto důvodu je uhlí po vytěžení nejdříve upraveno přímo v místě vytěžení. Surové uhlí je rozdělováno na jednotlivé složky podle popelnatosti, čímž dojde k odstranění hlusiny. Upravené uhlí je následně dodáno k dalšímu zpracování na koksovnu, kde dojde k jeho další úpravě - přípravě uhlí pro koksování. Přípravou uhlí pro koksování se rozumí technologické postupy, jimiž se z různých druhů praného uhlí, dodávaných koksovně z jednotlivých prádel, připravuje vsázka pro plnění koksovacích komor jednotlivých baterií.

Při určování způsobu uhelné přípravy rozhoduje počet složek, z nichž se má vsázkové uhlí připravovat, spékavost a koksovatelnost jednotlivých složek uhlí, výkyvy v jejich popelnatosti a vlhkosti. Rozhoduje i to, zda se má nebo nemá používat ostřidel, zda se chce uhelná vsázka olejovat nebo nikoli. Podle toho se volí různé způsoby přípravy uhlí.

Nejjednodušší příprava uhlí by byla při zpracování jediného druhu uhlí, který by měl ideální koksovací vlastnosti a neměl žádné denní ani týdenní výkyvy v jakosti. V takovém případě by se příprava uhlí omezila na skládání, mletí a dopravu uhlí. Takovéto ideální případy existují jen zcela výjimečně. Prané uhlí se koksovnám dodává v různém třídění a jakosti. Často se dodává tzv. nemleté uhlí zrnitosti 0 až 80 mm, někdy odděleně jemnozrnné uhlí velikosti 0 až 10 mm a hrubozrnné uhlí 10 až 80 mm.

Způsoby přípravy uhlí se řídí podle toho, jak a v jakém pořadí je uspořádáno mletí a míchání uhlí. Z toho hlediska se rozlišuje:

- příprava kolektivní, charakterizovaná tím, že se jednotlivé druhy uhlí nejprve dávkuje a směs se společně (kolektivně) mele;
- příprava diferenční, při níž se nejprve jednotlivé druhy uhlí odděleně (diferenčně) melou a mletá uhlí se pak dávkuje a míchají;
- příprava selektivní, která je zvláštním uspořádáním diferenčního mletí, vyznačuje se však určitou charakteristikou zrnění, které zlepšuje jakost koksu [10].

Optimálním mletím uhlí dochází ke zlepšení koksotvorného procesu v důsledku zvýšené homogenity vsázky, čímž se zlepšuje celková struktura a snižuje se vnitřní napětí v koksové hmotě. Oproti tomu nadměrné mletí zhoršuje samotný proces spékání, protože vzniká relativně méně tekuté fáze, čímž se zvyšuje viskozita plastické hmoty uhlí.

Jednou z příčin snížené pevnosti koksu jsou trhliny v koksovém skeletu. Ty vznikají z vnitřního pnutí, protože každé zrno prochází termickým rozkladem (pyrolýzou) prakticky nezávisle na ostatních zrnech a každé se snaží smrštít se po znovuzpevnění v mezích zbytkového objemu. Protože materiál není homogenní a také jeho ohřev se vyvíjí nerovnoměrně, není smrštění souhlasné. Pravděpodobnost vzniku a projevu zbytkového pnutí je tím větší, čím hrubší jsou zrna. Při hrubém rozemletí uhlí zrna v plastickém stavu nemizí, avšak jejich zbytkový materiál se deformuje. Tvoří se nehomogenní prostředí, které přechází v konglomerát „polokoks-koks“. Trhliny vzniklé vlivem pnutí se při svém šíření setkávají s těmito „hrubými zrny“. Pokud ta jsou dostatečně pevná, pak probíhají kolem nich. Značný odpor tohoto nehomogenního prostředí stačí šíření trhlín utlumit. Při velmi jemném mletí vsázky se sice v koksu tvoří méně trhlín, avšak ty se intenzivněji šíří do hloubky. Proto také při koksování takových směsí vzniká koks drobnější, avšak obsahuje méně trhlín.

Z výše uvedených skutečností, lze vyvodit, že je nutno:

- docílit optimálního poměru granulometrických tříd pro zvýšení sypné hustoty vsázky;
- eliminovat tvorbu velkého množství jemných tříd, snižujících spékavost uhlí, volit stupeň mletí v souladu se „znečištěním“ uhlí nespékavými příměsemi.

## 4 VLASTNOSTI A SLOŽENÍ UHELNÉ VSÁZKY VE VZTAHU KE KVALITĚ KOKSU

### 4.1 Kvalita vysokopecního koksu

Metalurgický (vysokopecní) koks je nejpoužívanějším druhem paliva při výrobě surového železa. Vysokopecní koks slouží ve vysoké peci nejen jako zdroj tepla, ale je zároveň redukčním činidlem, zabezpečuje prodyšnost a oporu sloupce vsázky při vysokých teplotách a slouží i k nauhličování surového železa. Vysokopecní koks má mít vysokou výhřevnost a dobré mechanické vlastnosti, ze kterých se hodnotí hlavně otíravost. Kvalitní koks má mít při zkoušce MICUM hodnotu  $M_{10} < 8 \%$  a  $M_{40} > 80 \%$ .

Spodní hranice kusovosti koksu používaného ve vysoké peci je 40 – 50 mm. V současnosti je tendence snižovat spodní hranici kusovosti až na 25 mm. Snižování kusovosti je umožněno hlavně zvyšováním bohatosti rudné vsázky. Při použití bohaté rudné vsázky se tvoří menší množství strusky, což zlepšuje prodyšnost vsázky a vytváří předpoklady pro použití drobnějšího koksu. Z hlediska prodyšnosti je důležitým činitelem i rozptyl kusovosti koksu, který má být co nejmenší.

Z chemického hlediska je důležitý obsah neprchavého uhlíku, který bývá 83 – 91 %. Obsah popela má být co nejnižší a je dán druhem použitého uhlí. Jakostní druhy koksu obsahují 6 – 10 % popela. České a slovenské vysoké pece pracují s koksem o obsahu popela 8 – 12 %. Popel obsahuje 40 – 55 %  $\text{SiO}_2$ , 5 – 30 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 15 – 30 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 1 – 5 %  $\text{CaO}$ , 0,5 – 3 %  $\text{MgO}$ , 0,8 – 3,3 %  $\text{SO}_3$ , 0,2 – 2 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  a 0,2 – 1,7 %  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , takže k jeho převedení do strusky je vždy nezbytná zásaditá přísada. Snížení obsahu popela o 1 % vyvolá snížení spotřeby koksu o 1 – 1,5 % a zvýšení výrobnosti pece o 0,8 – 1,5 %.

Celkový obsah síry v koksu bývá 0,6 – 2,5 %. Snížení obsahu síry v koksu o 0,1 % zvyšuje výrobnost vysoké pece o 0,7 – 1,2 % a snižuje měrnou spotřebu koksu o 0,8 – 1,5 %.

Obsah fosforu bývá u českých druhů koksu okolo 0,07 %. Zápalná teplota vysokopecního koksu bývá 600 – 750 °C. Hořením koksu přehřátého asi na 1500 °C je ve vysoké peci dosažitelná teplota 1800 – 2200 °C.

Působení alkálií na průběh procesů probíhajících ve vysoké peci je v současnosti opět v centru pozornosti odborníků z oblasti výroby surového železa. Důvodem jsou nové poznatky o kumulaci alkalických látek ve spodní části vysoké pece, v důsledku čehož mohou

mít s alkáliemi problémy i vysoké pece, u kterých obsah alkálií ve vsázce není zvlášť vysoký. Obecně je vliv alkálií na vysokopecní proces v posledním období předmětem velmi intenzivního výzkumu ve všech vyspělých zemích. Alkálie obsažené ve vysokopecních vsázkových materiálech a spolu s nimi dodávané do vysoké pece, jsou zdrojem vážných potíží v procesu výroby surového železa. Překročení přípustného obsahu alkálií ve vysokopecní vsázce na jednu tunu surového železa způsobuje zhoršení provozu a snížení výkonu vysokých pecí, pokles odolnosti koksu, podporuje zavěšování vsázky, vznik nasazenin a urychlení opotřebení žáruvzdorného obložení pece. Nelze jednoznačně stanovit hodnotu přípustného podílu alkálií ve vsázce. Je závislý hlavně na vysoké peci a jejím stavu a na podmínkách procesu.

Důležitou vlastností vysokopecního koksu je jeho reaktivita ( $CRI < 25 \%$ ,  $CSR > 60 \%$ ). Je určovaná rychlostí přeměny uhlíku koksu na CO působením  $CO_2$ . Z hlediska spotřeby koksu je jeho velká reaktivnost nevýhodná, protože zvyšuje měrnou spotřebu koksu [11].

## 4.2 Predikce vlastností vysokopecního koksu

Pro predikci kvality koksu je k dispozici celá řada modelů, které jsou založeny na kvalitativních parametrech uhlí a jsou omezeny na stejné geografické ložisko, ale univerzální predikční vzorec dosud neexistuje. Pro predikci koksu se v koksárenství běžně používají predikční modely. Současné modely zohledňují vybrané vlastnosti uhlí tvořící uhelnou směs. Každá koksovna používá svůj model, který je přizpůsoben jejím provozním podmínkám, které se mění spolu s dostupností uhlí na trhu. Ve většině modelů však zatím nebyl zcela objasněn vliv inertů (koksový prach, petrolkoks, antracit, apod.). Po nedávném prověření některých relevantních metod používaných pro predikci kvality vysokopecního koksu vyšlo najevo, že zatím neexistuje univerzální predikční model, který by byl schopen reagovat na obrovskou rozmanitost uhlí používaných pro výrobu koksu [12].

Mezi fyzikálními vlastnostmi koksu, kterými se definuje jeho kvalita, je jednou z nejdůležitějších vlastností odolnost koksu proti rozpadu za normální teploty v rotujícím bubnu (mechanická pevnost koksu za studena). Zkoušky, které se provádějí, jsou standardizovány z hlediska provedení bubnu a jeho rozměrů, množství a velikosti koksu ke zkoušce, provedení zkoušky (počet a rychlost otáček) i indexů kvality, které označují míru degradace koksu rozpadem, otěrem a podobně. Všechny tyto testy měří odolnost koksu při namáhání za normální teploty, ale ani jeden z nich nepopisuje, jak se bude koks chovat v plynné atmosféře a vysokých teplot vysokopecního prostředí. Z tohoto důvodu byla v NSC

vyvinuta zkouška, která je kombinací reaktivity vůči  $\text{CO}_2$  za vysoké teploty (index CRI) a poreakční mechanické pevnosti (index CSR). Jedná se o zkoušku, která je v koksárenském a železárenském průmyslu uznávána na celém světě. Nepanuje však shoda o tom, je-li CSR aditivní nebo nikoliv. Cílem této citované práce bylo aplikovat pravidlo aditivity a predikovat kvalitu koksů vyrobených z uhelných směsí, a to na základě předpokladu, že CSR koksů vyrobeného ze směsí uhlí se dá predikovat z výsledků CSR koksů získaných z těchto jednotlivých druhů uhlí.

Pro účely této práce bylo z běžně používaných koksovatelných uhlí vybráno 22 jednotlivých druhů uhlí s obsahem prchavých látek v rozsahu 17 až 33%. Jednotlivé druhy se samostatně koksovaly a vyrobené koksy se podrobily potřebným analýzám. Následně se uhlí míchala tak, aby vznikly požadované binární, terciární a kvarterní směsí. V tabulce 3 jsou uvedena nejdůležitější data kvality uhlí používaných pro přípravu jednotlivých směsí. Uhlí jsou seřazena podle stoupajícího obsahu prchavé hořlaviny. Je zřetelně vidět dvě hlavní skupiny uhlí. Jednu skupinu zastupují uhlí s nižším obsahem prchavých látek a maximální plasticitou dle Gieselera do 500 ddpm, druhou skupinu tvoří velmi plastická uhlí s obsahem prchavých látek přibližně 32 %. Tabulka 3 rovněž obsahuje data kvality koksů vyrobených z těchto uhlí. Za účelem zlepšení kvality koksů vyrobených z uhlí s vysokou plasticitou bylo ke zkouškám připraveno šest binárních směsí, dvě ternární a kvartérní směs. Podle očekávání byly některé parametry směsí aditivní (např. obsah popela, prchavých látek a síry), výjimku tvořila plasticita dle Gieselera, která se považuje za neaditivní vlastnost.



Tab.3: Kvalita uhlí a koksu.

	H	W1	PD	A	F1	N	C	B	Pf
<b>Uhlí</b>									
Vlhkost $W_r^t$ (hm.%)	6,7	10,4	8,0	10,0	7,3	8,6	8,5	8,9	7,3
Popel $A^d$ (hm.%)	5,0	6,9	9,2	5,6	9,1	7,0	6,0	6,1	5,5
Prchavá hořlavina $V^d$ (hm.%)	17,9	18,5	20,7	22,4	24,0	30,2	31,3	32,8	33,1
Síra $S^d$ (hm.%)	0,72	0,70	0,59	0,75	0,54	0,78	0,77	0,75	0,77
Plasticita dle Gieselera									
$F_{max}$ (ddpm)	31	107	243	244	10	29 972	24 643	29 990	29 927
<b>Koks</b>									
$I_{20}$ IRSID test (hm.%)	76,0	74,9	76,6	76,3	71,4	74,9	73,6	67,8	67,9
$I_{10}$ IRSID test (hm.%)	21,5	21,9	21,7	20,6	25,9	21,3	21,6	24,0	24,1
$I_{40}$ IRSID test (hm.%)	49,8	40,5	58,4	44,7	43,1	40,3	36,7	24,9	26,1
<b>CRI</b> (hm.%)	60,3	39,9	15,2	40,0	19,7	26,7	21,7	19,1	17,7
<b>CSR</b> (hm.%)	23,9	49,5	73,6	46,5	66,7	61,0	65,7	65,0	67,3

Jak je patrné z tabulky 4 byly největší rozdíly mezi experimentálními a vypočtenými vlastnostmi za předpokladu aditivity zjištěny u parametru Irsid u směsí CB1, CB2, CB7 a CB9, z nichž všechny obsahovaly buď uhlí B a Pf. Obě uhlí, která mají obsah prchavých látek kolem 33 %, produkovala nízké hodnoty  $I_{20}$  a  $I_{40}$  a vysoký index  $I_{10}$ . Pokud se uhlí, které produkuje koks malé mechanické pevnosti, tj. uhlí B a Pf, smíchá v poměru 1:1 s výborně koksujícím uhlím, tj. H a PD, pak se indexy Irsid z koksu ze směsí (CB1 a CB2) přiblíží hodnotám indexů Irsid vysoce kvalitního koksu. U všech směsí uvedených v tabulce 4 jsou experimentální hodnoty lepší než hodnoty vypočtené na základě pravidla aktivity. U všech koksu vyrobených ze směsí se rovněž stanovovaly hodnoty reaktivity a poreakční pevnosti. Bylo zjištěno, že rozdíly mezi experimentálními hodnotami a hodnotami vypočtenými na základě pravidla aditivity byly malé a vždy odpovídaly intervalu přípustné velikosti chyby zkoušení.

Tab.4: Kvalita uhelné směsi a kvalita koksu z binárních, ternárních a kvartérní směsi.

	<b>CB1</b> <b>50H+50B</b>	<b>CB2</b> <b>50PD+50B</b>	<b>CB3</b> <b>25PD+75C</b>	<b>CB4</b> <b>75W1+25N</b>	<b>CB5</b> <b>50W1+50N</b>	<b>CB6</b> <b>25W1+75N</b>
<b><i>Složení směsi</i></b>						
Vlhkost $W_r^t$ (hm.%)	5,7	12,6	6,5	8,8	8,8	7,9
Popel $A^d$ (hm.%)	6,1	7,8	6,6	6,3	6,8	6,7
Prchavá hořlavina $V^d$ (hm.%)	25,8	26,1	29,5	21,4	24,7	26,7
Síra $S^d$ (hm.%)	-	-	0,78	0,72	0,76	0,75
Plasticita dle Gieselera						
$F_{max}$ (ddpm)	1276	625	5360	279	1383	12 528
<b><i>Koks</i></b>						
$I_{20}$ IRSID test (hm.%)	75,6 (71,9)	77,5 (72,2)	76,4 (74,4)	76,8 (74,9)	76,8 (74,9)	75,3 (74,9)
$I_{10}$ IRSID test (hm.%)	19,9 (22,8)	20,6 (22,9)	21,2 (21,6)	20,5 (21,8)	20,9 (21,6)	22,0 (21,5)
$I_{40}$ IRSID test (hm.%)	52,4 (37,4)	60,1 (41,7)	50,0 (42,1)	45,7 (40,5)	48,0 (40,4)	48,5 (40,4)
<b>CRI</b> (hm.%)	39,1 (39,7)	19,6 (17,1)	19,1 (20,0)	35,8 (36,6)	34,0 (33,3)	29,6 (30,0)
<b>CSR</b> (hm.%)	46,9 (44,5)	68,2 (69,9)	67,2 (68,0)	53,1 (52,4)	53,2 (55,3)	55,7 (58,1)
	<b>CB7</b> <b>50PD+25B</b> <b>+25A</b>	<b>CB8</b> <b>25PD+</b> <b>25W1+50CB</b>	<b>CB9</b> <b>25PD+25F1+</b> <b>25A+25Pf</b>			
<b><i>Složení směsi</i></b>						
Vlhkost $W_r^t$ (hm.%)	8,3	5,9	7,7			
Popel $A^d$ (hm.%)	8,2	7,2	7,5			
Prchavá hořlavina $V^d$ (hm.%)	23,6	24,9	24,5			
Síra $S^d$ (hm.%)	0,73	0,72	0,70			
Plasticita dle Gieselera						
$F_{max}$ (ddpm)	215	566	190			
<b><i>Koks</i></b>						
$I_{20}$ IRSID test (hm.%)	78,4 (74,3)	77,0 (74,7)	77,6 (73,1)			
$I_{10}$ IRSID test (hm.%)	20,0 (22,0)	21,2 (21,7)	20,6 (23,1)			
$I_{40}$ IRSID test (hm.%)	59,5 (46,6)	58,7 (43,1)	55,3 (43,1)			
<b>CRI</b> (hm.%)	21,6 (22,2)	24,2 (24,6)	22,4 (23,1)			
<b>CSR</b> (hm.%)	66,3 (65,2)	63,3 (63,6)	65,7 (63,5)			

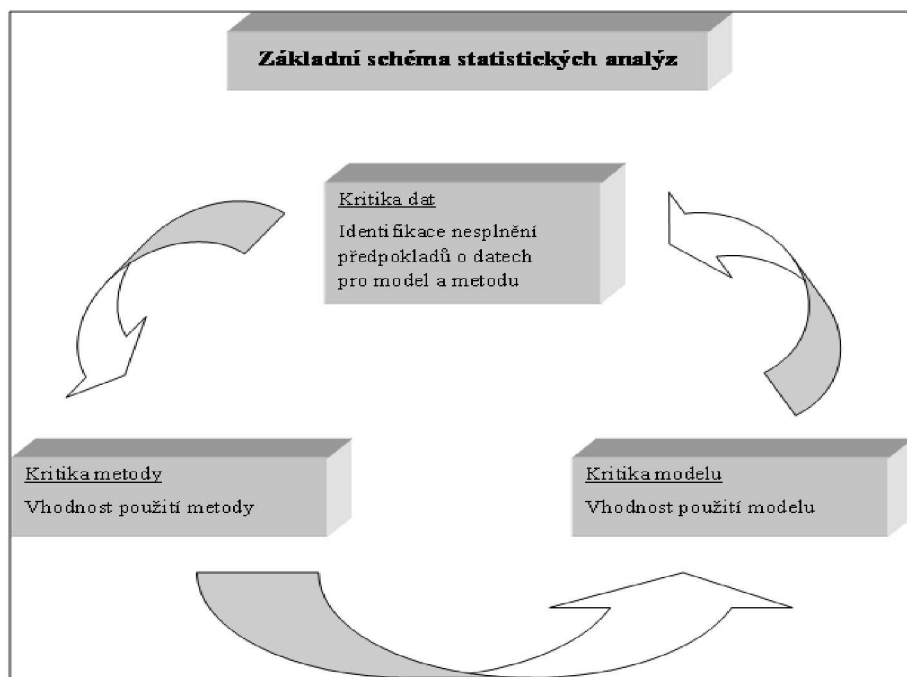
Reaktivita koksu k  $CO_2$  a poreakční pevnost jsou aditivně závislé na složení směsi a hodnotách CRI a CSR koksu stanovených u jednotlivých uhlí použitých ve směsi. Stupeň aditivity indexů Irsid je méně jasný, zejména pak v případě jednoduchých směsí. Tento způsob predikce kvality koksu by se dal využít v průmyslové praxi tam, kde by při existenci databáze výsledků kvality koksu mělo být možné predikovat kvalitativní znaky ze směsí, a to

zejména tehdy, dá-li se pravidlo aditivity aplikovat na koksy vyrobené v menším měřítku, jejichž výsledky se pak extrapolují do průmyslového měřítka [12].

### 4.3 Kompozice uhelných vsázek s využitím statistických metod

Vysokopeční výroba surového železa je i nadále dominující technologií v přípravě surovin pro výrobu oceli. Významnou složkou tohoto procesu je koks, který ve vysoké peci plní více úloh, proto musí splňovat určité jakostní parametry. Z tohoto důvodu narůstá jeho cena, za poslední léta vzrostla několikanásobně a dosahuje až 10.000 Kč/tunu, což výrazně negativně ovlivňuje hospodářskou stránku hutnictví ve stále širších souvislostech. Cena metalurgického koksu tvoří téměř polovinu výrobních nákladů, proto je konkrétní odezvou snaha o snižování měrné spotřeby koksu, část potřebného tepla je nahrazena spalováním jiných (náhradních) paliv, a rostoucí požadavky na jeho kvalitu. V šachtě vysoké pece tak výrazně klesá podíl koksu, za zhoršení prodyšnosti vsázky. Prodlužuje se setrvání koksu pod kohesivním pásmem vysoké pece, mění se způsob degradace koksu, což vyžaduje jeho vyšší kvalitativní parametry. Obojí komplikuje skutečnost, že kvalitních uhlí, vhodných pro výrobu kvalitního koksu ubývá, jejich těžba je co do množství velmi variabilní, sestavení vhodných koksovacích vsázek se tudíž stává významnou etapou koksárenské technologie.

Významným prvkem se přitom stává nárůst množství ukládaných dat. Z tohoto velkého množství číselných údajů je nutno vybrat pouze takové, které zachovají původní důležité informace a zároveň odstraní nadměrný informační balast. Pro rozhodování jsou nutné pouze znalosti obecných zákonitostí, nikoliv detailů. Zpracování a vyhodnocení databáze umožňují vybrané statistické postupy, jejichž použití však musí být v souladu se základním schématem analýz, uvedeným na obrázku 10 [13].



Obr.10: Základní schéma statistických analýz [13].

Složitá podstata uhelné hmoty a tržní hospodářství staví před výrobcí vysokopecního koksu úkoly v oblasti hledání „optimálního stavu“ z hlediska ekonomiky výroby na jedné straně a požadavků na kvalitu produktu na straně druhé. Nutnou součástí procesu výroby vysokopecního koksu musí být pravidelné ověřování různých složení uhelných vsázek s cílem dosáhnout již dříve citovaného „optimálního“ stavu. Z pohledu dat získaných z provozních ověřování uhelných vsázek je možno konstatovat, že se jedná o velmi různorodé údaje, popisující jakostní parametry suroviny (uhlí a jejich směsí) a produktu (vysokopecního koksu) a často ve značné míře dávající podobné informace. Tato skutečnost předurčuje vícerozměrné metody statistické analýzy dat jako prostředek pro vysvětlení vazeb mezi analyzovanými informacemi a zároveň pro vytvoření modelu ověřování vlivu změny vsázek na kvalitu koksu. Tento model následně může sloužit pro určení optimálního stavu, tj. komplexního náhledu na ověřování uhelné vsázky z pohledu technologického tak i ekonomického. Je možné klasifikovat jakostní parametry vsázky a zároveň obdobné parametry vyrobeného vysokopecního koksu včetně dopadu na jeho spotřebu ve vysoké peci [14].

V citované práci byla pro statistickou analýzu použita data získaná během provozních ověřování uhelných vsázek z období dubna – května 2005.

---

U vstupní suroviny (uhelných vsázek) byly stanoveny:

- základní jakostní parametry ( $W_r^t$ ,  $A^d$ ,  $V^{daf}$ , SI, a, b);
- macerálové složení;
- typové složení;
- plastické vlastnosti podle Gieselera.

U koksu byly stanoveny:

- základní jakostní parametry ( $W_r^t$ ,  $A^d$ ,  $V^{daf}$ );
- mechanická pevnost (M40, M10);
- parametry podle NSC metodiky (CSR, CRI);
- obsah síry.

Jak již bylo uvedeno v úvodu pro tvorbu statistického modelu, byla použita vícerozměrná analýza dat metodou hlavních komponent. Cílem této analýzy je najít vzájemné vazby mezi objekty s pokud možno minimální ztrátou informace při současném jejich dvourozměrném grafickém zobrazení. Originální data jsou pomocí maticových operací přepočteny na hlavní komponenty, které jsou jejich lineární kombinací. Jako objekty v této analýze jsou považovány v našem případě jednotlivé pokusné vsázky. Tyto objekty jsou v grafickém výstupu zobrazeny v dvojném grafu, jehož osy tvoří již dříve popsané hlavní komponenty. Cílem analýzy je najít takovou kombinaci originálních proměnných, při které zůstane zachována maximální možná úroveň informací získaných ze zdrojových dat. Jako prostředek kontroly ztráty informací je používána celková variabilita dat. Doporučená obecná hranice tohoto rozptylu je minimálně 75 %. Konkrétní případy jsou odvislé od charakteru analyzovaných dat. Díky dříve citovaným vlastnostem metody hlavních komponent lze na dvourozměrné ploše promítnout vícerozměrné informace a tím klasifikovat velký objem informací pomocí pár grafů. Toto umožňuje rychlou a velmi efektivní podporu operativního rozhodování o použití uhelných vsázek pro další výrobu.



Metoda hlavních komponent byla použita pro analýzu procesu ověřování vsázek v provozním měřítku. Toto ověřování je rozděleno do dvou základních kroků:

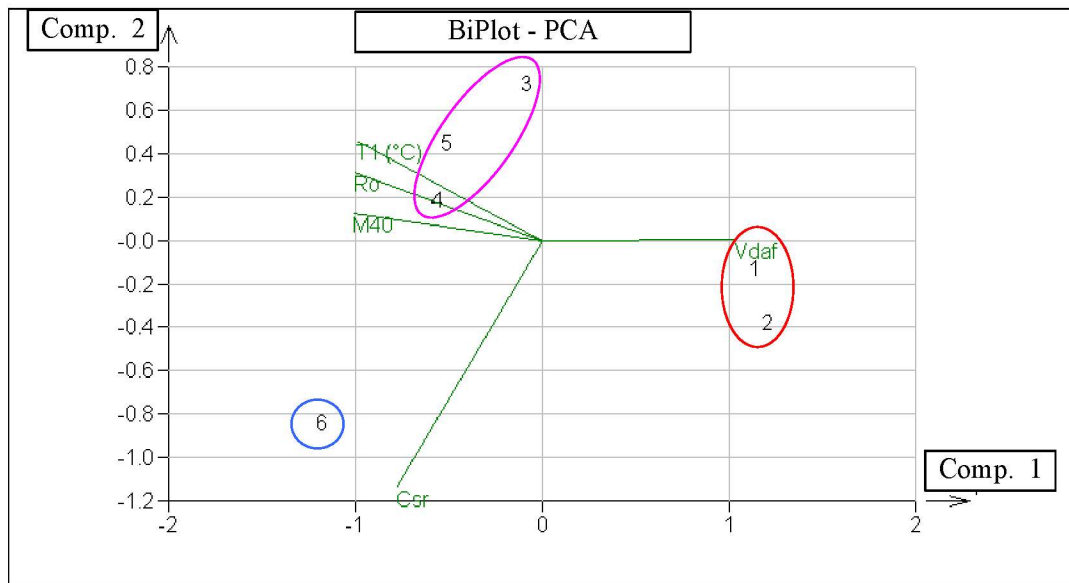
- testování „čistých“ uhlí;
- testování směsí.

Testování komponent je prováděno za účelem získání podrobných informací o jednotlivých komponentech uhelných vsázek a zároveň slouží jako podklad pro návrh složení pokusných uhelných vsázek ověřovaných v druhém kroku. Testování směsí má jednoznačný aplikační charakter a jeho výstupem jsou návrhy složení směsí pro běžnou výrobu vysokopecního koksu s přihlédnutím na různé technicko-ekonomické aspekty výroby vysokopecního koksu.

Analýza dat z ověřování „čistých“ uhelných vsázek metodou hlavních komponent ukázala, že pro komplexní popis provedených testů lze použít následující jakostní parametry:

- obsah prchavé hořlaviny ( $V^{\text{daf}}$ );
- střední světelná odraznost vitrinitu ( $R_o$ );
- teplota měknutí (stanovení plasticity podle Gieselera);
- pevnost koksu M40;
- parametr CSR.

Hlavní výstup analýzy metodou hlavních komponent je uveden na obrázku 11.



Obr.11: Hlavní výstup analýzy metodou hlavních komponent [15].

Tento obrázek nám velmi dobře klasifikuje analyzované objekty do 3 základních skupin:

- skupina uhlí s vysokým obsahem prchavé hořlaviny, nízkou hodnotou  $R_o$ , M40 a CSR (vsázky označené 1, 2);
- skupina uhlí s nižším obsahem prchavé hořlaviny, vyšší hodnotou parametru  $R_o$ , M40 a CSR (vsázky označené 3, 4, 5);
- uhlí s ještě nižším obsahem prchavé hořlaviny, ještě lepším parametrem M40 a  $R_o$ , ale horším parametrem CSR (vsázka označená 6) [15].

## 5 ZÁVĚR

Vysokopecní koks je v současnosti nejpoužívanějším druhem paliva při výrobě surového železa. V šachtě vysoké pece plní různé úlohy. Je zdrojem tepla a redukčního plynu, zabezpečuje prodyšnost a oporu slupce vsázky, slouží jako nahličovadlo surového železa, které je důležité pro jeho další zpracování v ocelárně. Je snahou nahradit část vysokopecního koksu, z důvodu jeho rostoucí ceny na světových trzích, náhradním palivem pomocí injektáže. Koks ve vysoké peci je vystaven delšímu působení v kohesivní zóně, mění se způsob jeho degradace, což vyžaduje jeho vyšší kvalitu.

Výroba kvalitního koksu je v dnešní době poznamenána nedostatkem kvalitních koksovatelných uhlí. Tato situace nutí koksárenský průmysl hledat nové zdroje koksovatelného uhlí, je snahou při skladbě uhelné vsázky využívat i méně kvalitní uhlí. Při určování způsobu přípravy uhelné vsázky rozhoduje počet složek, z nichž se má vsázka připravit, spékavost a koksovatelnost jednotlivých složek, variabilita v jejich kvalitě zejména s ohledem na jejich popelnatost, vlhkost a obsahu alkálií, používání ostřidel. Způsob přípravy jednotlivých uhelných druhů se řídí podle toho v jakém pořadí je uspořádáno mletí a míchání uhlí. Optimálním mletím uhlí dochází ke zlepšení kvality výsledného koksu. Jako vhodné se jeví příprava pomocí selektivního mletí, které je zvláštním uspořádáním diferenčního mletí, kdy dochází k úpravě určitého zrna.

Významným nástrojem pro určování vhodného složení uhelné vsázky s ohledem na kvalitu vzniklého koksu jsou i predikční modely, které umožňují ze vstupních kvalitativních parametrů (např. obsah popelu, síry, alkálií atd.) jednotlivých uhelných druhů stanovit výslednou kvalitu vysokopecního koksu, jedná se především o parametr pevnosti po reakci s  $\text{CO}_2$  (index CSR). Dalším významným nástrojem kompozice uhelných vsázek je využití statistických modelů. Tyto modely umožňují z obrovského množství číselných údajů, charakterizujících kvalitu jednotlivých uhelných druhů, vybrat pouze takové, které jsou nositelem důležitých informací. Analyzované metody mohou tvořit základ možné diplomové práce.

## Seznam použité literatury:

- [1] KOSZOREK, A.; KRZESIŃSKA, M.; PUSZ, S. Relationship between the technical parameters of coke produced from blends of three Polish coals of different coking ability. *International Journal of Coal Geology* 77 (2009) p.363–371. ISSN 0166-5162.
- [2] DI´EZ, M.A.; ALVAREZ, R; BARRIOCANAL, C. Coal for metallurgical coke production: prediction of coke quality and future requirements for cokemaking. *International Journal of Coal Geology* 50 (2002) p.389– 412. ISSN 0166-5162.
- [3] ROUBÍČEK, V.; BUCHTELE, J. *Uhlí – zdroje, procesy, užití*. Ostrava:Montanex, 2002, 171 s. ISBN 80-7225-063-9
- [4] ČSN 44 1310:2001. *Tuhá paliva - Označování analytických ukazatelů a vzorce přepočtů výsledků na různé stavy paliva*.
- [5] SUÁREZ-RUIZ, ISABEL; WARD, R.C. *Applied coal petrology: the role of petrology in coal utilization. Basic Factor Controlling Coal Quality and Technological*. Behavior of Coal Academic press Elsevier, Burlington, USA, 2008, 395 p. ISBN 978-0-08-045051-3
- [6] OVČAŘÍ, P. *Základy uhelné petrografie a její význam pro praxi. Sylaby pro vzdělávací kurz v oboru Koksárenství 1*. Ostrava:VŠB, 2007
- [7] MARTINEC, P.; JIRÁSEK, J.; KOŽUŠNÍKOVÁ, A. *Atlas uhlí české části hornoslezské pánve*. Ostrava:Anagram, 2005, 64 s. ISBN 80-7342-082-1
- [8] KALOČ, M. *Příprava uhelné vsázky I.díl*. Ostrava:VŠB, 1982, 228 s.
- [9] ČSN 44 1338:1982. *Černá uhlí – Stanovení indexu melitelnosti Hardgrove*.
- [10] KOZINA, A., PÍŠA, M., ŠPLÍCHAL, B. *Koksárenství*. Praha:SNTL, 1973, 474 s.
- [11] KRET, J. *Kvalita koksu pro vysoké pece. Sylaby pro vzdělávací kurz v oboru Koksárenství 1*. Ostrava:VŠB, 2007.
- [12] ALVAREZ, R. DI´EZ, M.A.; BARRIOCANAL, C. An approach to blast furnace coke quality prediction. *Fuel* 86, (2007) p.389 – 412. ISSN 0016-2361.
- [13] CZUDEK, S., KALOČ, M., CIESLAR, J., ŠKUTA, Z. Kompozice uhelných vsázek s využitím statistických metod. *Hutnické listy*, roč. LXI, č.3, s.8-14, 2008. ISSN 0018-8069.

- 
- [14] ROUBÍČEK, V., JANÍK, I., BILÍK, J., KRET, J. Utilization of Coal Steel Industry. *Eighteenth Annual International Pittsburgh Coal Conference Proceedings*, Newcastle, Australia, 2001, CD-ROM
- [15] KALOČ, M., BARTUSEK, S., CZUDEK, S. Metallurgical Coke Quality Depending on the Variability of Properties of Coking Coal Mixes Components. *Proceedings of ICCS&T Okinawa*, October 2005.